

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-242833

(43)公開日 平成 6 年(1994) 9 月 2 日

(51)Int.Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 5 D 3/12	3 0 5 V	9179-3H		
	L	9179-3H		
G 0 5 B 11/36	F	7531-3H		
	5 0 3 C	7531-3H		
13/02	B	9131-3H		

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 12 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願平5-30623

(22)出願日 平成 5 年(1993) 2 月19日

(71)出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72)発明者 妻鹿 浩尚

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(72)発明者 久保田 三郎

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

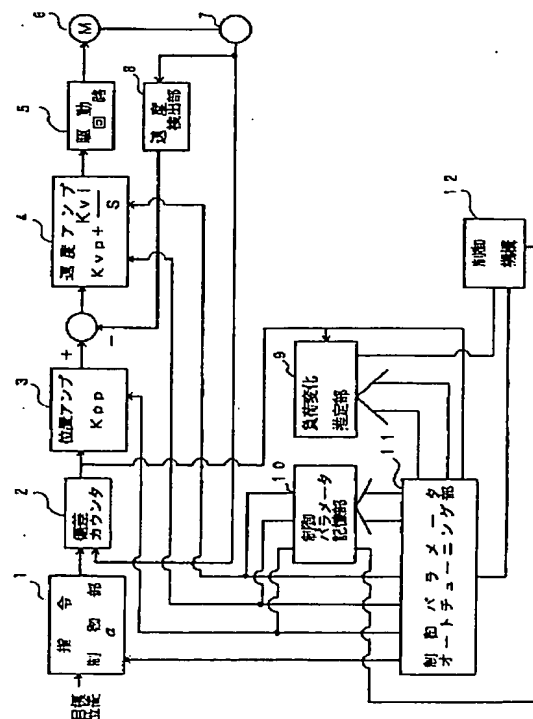
(74)代理人 弁理士 石原 勝

(54)【発明の名称】 自動調整サーボ制御装置

(57)【要約】

【目的】 負荷の変化に対応して、常に、最適の制御パラメータで制御する自動調整サーボ制御装置を提供する。

【構成】 負荷変化推定部 9 と、各種大きさの負荷とこれに対応する最適制御パラメータとを記憶する制御パラメータ記憶部 10 と、全体を制御し、サーボ動作開始時には、標準負荷時の最適パラメータを使用するようにし、サーボ動作開始時から一定時間だけ、負荷変化推定部 9 に、サーボ動作開始時の偏差カウンタ曲線と標準負荷で最適パラメータを使用した場合の偏差カウンタ曲線との差を積分して実際の負荷の大きさを規定させ、前記一定時間の終了時に、前記規定された実際の負荷の大きさに基づいて、制御パラメータ記憶部 10 から最適制御パラメータを読み出して使用する制御機構 12 とを有する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 モータを制御してサーボ制御対象物の移動を各時刻の目標位置に一致させるために位置指令値を出力する指令制御部と、前記位置指令値と実際位置との差異を検出し偏差カウンタ曲線を出力する偏差カウンタと、制御パラメータに基づいて動作する位置制御ループ及び速度制御ループとを有するサーボ制御装置において、前記偏差カウンタ曲線から負荷の大きさを規定する負荷変化推定部と、予め設定された各種負荷の大きさとこれに対応する最適制御パラメータとを記憶する制御パラメータ記憶部と、制御装置全体を制御して、サーボ動作開始時には、予め設定した標準負荷時の最適パラメータを使用するようにし、サーボ動作開始時から一定時間だけ、前記負荷変化推定部に、サーボ動作開始時の前記偏差カウンタ曲線と予め設定された標準負荷で最適パラメータを使用した場合の偏差カウンタ曲線の規範モデルとの差を積分させその結果から実際の負荷の大きさを規定させ、前記一定時間の終了時に、前記規定された実際の負荷の大きさに基づいて、前記制御パラメータ記憶部から前記実際の負荷の大きさにに対応する最適制御パラメータを読み出しこれを使用して制御する制御機構とを有することを特徴とする自動調整サーボ制御装置。

【請求項 2】 偏差カウンタ曲線からオーバーシュート量と整定時間とを演算し、その演算結果からファジィ推論によって制御パラメータを調整する制御パラメータオートチューニング部と、制御装置全体を制御して、前記制御パラメータオートチューニング部に標準負荷での最適制御パラメータを演算させ、この最適制御パラメータを制御パラメータ記憶部に記憶させると共に、前記標準負荷で前記最適制御パラメータを使用してサーボ動作を行い、サーボ動作開始時から一定時間だけの偏差カウンタ曲線を、偏差カウンタ曲線の規範モデルとして求め、この規範モデルを制御パラメータ記憶部に記憶させ、負荷のみを各種負荷に順次変更し、これらの各種負荷の場合について、サーボ動作開始時から一定時間だけ、負荷変化推定部に、サーボ動作開始時の偏差カウンタ曲線と前記偏差カウンタ曲線の規範モデルとの差の積分値を求めさせ、同時に、前記制御パラメータオートチューニング部に前記各種負荷での最適制御パラメータを演算させ、前記一定時間の終了時に、前記差の積分値とこの最適制御パラメータとの組合せを前記制御パラメータ記憶部に記憶させる制御機構とを有する請求項 1 に記載の自動調整サーボ制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、ロボット等の位置決めシステムに用いられるサーボ制御装置に関し、特に、モータにかかる負荷等の変化に対応して、制御パラメータ等を自動調整する自動調整サーボ制御装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 ロボット等の位置決めシステムに用いられる従来例のサーボ制御装置の構成と動作とを図 19 に基づいて説明する。

【0003】 図 19 において、制御対象物を各時刻の目標位置に一致させるようにモータ 6 を制御するために、目標位置を指示された指令制御部 1 が、別に設定された加速度及び最高速度に基づいて各時刻の位置指令を出力する。偏差カウンタ 2 が、前記の位置指令と、位置検出器 7 からの位置データとを受けてこれらの偏差を演算し、演算した偏差を出力する。位置アンプ 3 が、偏差カウンタ 2 の出力を受けて、位置アンプ比例ゲイン K_{pp} を比例演算し、速度指令値を出力する。速度アンプ 4 が、位置アンプ 3 から受けた速度指令値と、速度検出部 8 からの速度データとの差に応じて、比例・積分演算を行い、速度アンプ比例ゲイン K_{vp} と、速度アンプ積分ゲイン K_{vi}/S とを出力する。S はラプラス変換を表す。駆動回路 5 が、前記の速度アンプ比例ゲイン K_{vp} と速度アンプ積分ゲイン K_{vi} とに基づき、モータ 6 を駆動する。

【0004】 制御対象の位置決めシステムによって慣性負荷や摩擦抵抗等が異なるので、目標の制御特性を得るには、位置アンプ 3 の位置アンプ比例ゲイン K_{pp} と、速度アンプ 4 の速度アンプ比例ゲイン K_{vp} と、速度アンプ積分ゲイン K_{vi} との演算を調整する必要がある。従来例では、この調整を熟練者が行っている。この調整の主な方法には、実際に動かす条件でシステムを動かし、その動作曲線をオシロスコープ等で観察しながらボリュームを回す等によって前記の各制御パラメータの演算を調整する方法と、速度制御ループ、位置制御ループの順に、ステップ状の指令値を与え、その応答特性によって前記の各制御パラメータの演算を調整する方法とがある。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 しかし、上記の従来例の構成では、制御パラメータの演算の調整に多大の時間を要するという問題点がある。従って、前記の各制御パラメータの調整後は、稼働時に制御パラメータの調整を行うことは難しく、稼働中に負荷が大きく変動するシステムでは、総ての状態で、目標の制御特性を得ることが出来ず、これを達成するには、その都度、調整に極めて膨大な時間を要するという問題点がある。

【0006】 本発明は、上記の問題点を解決し、負荷の変化に対応して、常に、最適の制御パラメータで制御する自動調整サーボ制御装置を提供することを課題としている。

【0007】

【課題を解決するための手段】 本発明の自動調整サーボ制御装置は、上記の課題を解決するために、モータを制御してサーボ制御対象物の移動を各時刻の目標位置に一

致させるために位置指令値を出力する指令制御部と、前記位置指令値と実際位置との差異を検出し偏差カウンタ曲線を出力する偏差カウンタと、制御パラメータに基づいて動作する位置制御ループ及び速度制御ループとを有するサーボ制御装置において、前記偏差カウンタ曲線から負荷の大きさを規定する負荷変化推定部と、予め設定された各種負荷の大きさとこれに対応する最適制御パラメータとを記憶する制御パラメータ記憶部と、制御装置全体を制御して、サーボ動作開始時には、予め設定した標準負荷時の最適パラメータを使用するようにし、サーボ動作開始時から一定時間だけ、前記負荷変化推定部に、サーボ動作開始時の前記偏差カウンタ曲線と予め設定された標準負荷で最適パラメータを使用した場合の偏差カウンタ曲線の規範モデルとの差を積分させその結果から実際の負荷の大きさを規定させ、前記一定時間の終了時に、前記規定された実際の負荷の大きさに基づいて、前記制御パラメータ記憶部から前記実際の負荷の大きさにに対応する最適制御パラメータを読み出しこれを使用して制御する制御機構とを有する。

【0008】又、本発明の自動調整サーボ制御装置は、上記の課題を解決するために、偏差カウンタ曲線からオーバーシュート量と整定時間とを演算し、その演算結果からファジィ推論によって制御パラメータを調整する制御パラメータオートチューニング部と、制御装置全体を制御して、前記制御パラメータオートチューニング部に標準負荷での最適制御パラメータを演算させ、この最適制御パラメータを制御パラメータ記憶部に記憶させると共に、前記標準負荷で前記最適制御パラメータを使用してサーボ動作を行い、サーボ動作開始時から一定時間だけの偏差カウンタ曲線を、偏差カウンタ曲線の規範モデルとして求め、この規範モデルを制御パラメータ記憶部に記憶させ、負荷のみを各種負荷に順次変更し、これらの各種負荷の場合について、サーボ動作開始時から一定時間だけ、負荷変化推定部に、サーボ動作開始時の偏差カウンタ曲線と前記偏差カウンタ曲線の規範モデルとの差の積分値を求めさせ、同時に、前記制御パラメータオートチューニング部に前記各種負荷での最適制御パラメータを演算させ、前記一定時間の終了時に、前記差の積分値とこの最適制御パラメータとの組合せを前記制御パラメータ記憶部に記憶させる制御機構とを有することが好適である。

【0009】

【作用】従来例では、変化する負荷と、これに対応する最適制御パラメータとを1対1で対応させる手段がなく、負荷の変化に対応して、制御パラメータを最適値に調整することが出来ないという問題点があったが、本発明の自動調整サーボ制御装置では、変化する負荷と、それに対応する最適制御パラメータとを1対1で対応させる手段を得て、前記問題点を解決し、稼働時の負荷の変化に対応して、常に、最適の制御パラメータで制御する

ことを可能にし、下記的作用を有する。

【0010】本発明の自動調整サーボ制御装置では、稼働時に負荷が変化する場合に、各種負荷での各最適制御パラメータに1対1で対応する負荷の大きさの規定を行うために、オートチューニングを行う制御機構が、サーボ動作開始時には、予め設定した標準負荷時の最適パラメータを使用するようにし、サーボ動作開始時から一定時間だけ、負荷変化推定部に、サーボ動作開始時の偏差カウンタ曲線と、予め設定された標準負荷で最適パラメータを使用した場合の偏差カウンタ曲線の規範モデルとの差を積分させ、その結果からサーボ動作開始時の実際の負荷の大きさを規定させている。このようにして規定した負荷の大きさは、この規定した負荷の大きさに対する最適パラメータと1対1の対応をする。

【0011】従って、制御パラメータ記憶部に、予め上記の規定で設定された各種負荷の大きさとこれに対応する最適制御パラメータとを記憶させておけば、前記の規定された負荷の大きさに対する最適パラメータを、制御機構が前記制御パラメータ記憶部から読み出すことによって、変化する負荷に対応する最適制御パラメータが得られる。

【0012】又、本発明の自動調整サーボ制御装置では、制御パラメータ記憶部に、前記の規定方法で設定される各種負荷の大きさとこれに対応する最適制御パラメータとを自動的に演算して記憶させるために、偏差カウンタ曲線からオーバーシュート量と整定時間とを演算し、その演算結果からファジィ推論によって制御パラメータを調整する制御パラメータオートチューニング部を付加し、オートチューニングを行う制御機構が、前記制御パラメータオートチューニング部に標準負荷での最適制御パラメータを演算させ、この標準負荷での最適制御パラメータを制御パラメータ記憶部に記憶させると共に、前記標準負荷で前記最適制御パラメータを使用してサーボ動作を行い、負荷変化推定部にサーボ動作開始時から一定時間だけの偏差カウンタ曲線を、偏差カウンタ曲線の規範モデルとして求めさせ、この規範モデルを制御パラメータ記憶部に記憶させ、負荷のみを各種負荷に順次変更し、これらの各種負荷の場合について、サーボ動作開始時から一定時間だけ、負荷変化推定部に、サーボ動作開始時の偏差カウンタ曲線と前記偏差カウンタ曲線の規範モデルとの差の積分値を求めさせ、同時に、前記制御パラメータオートチューニング部に前記各種負荷での最適制御パラメータを演算させ、前記一定時間の終了時に、前記差の積分値とこの最適制御パラメータとの組合せを前記制御パラメータ記憶部に記憶させている。

【0013】上記によって、本発明は、負荷が変化しても、サーボ制御動作を開始して最高速度に達するまでに、オートチューニングによって、それまで使用していた制御パラメータを、変化した負荷に対する最適制御パラメータに変更することにより、常に、最適制御パラメ

ータでサーボ制御を行う。

【0014】

【実施例】本発明の自動調整サーボ制御装置の一実施例の構成を図1、図2に基づいて説明する。

【0015】図2に示す直交ロボットにおいて、Y軸テーブル13に、Y軸モータ14とY軸ボールネジ15とがあり、X軸テーブル16を、Y軸テーブル13に沿って、Y軸方向に移動させ、任意の位置に位置決めする。X軸テーブル16には、X軸モータ17とX軸ボールネジ18とがあり、可動体19を、X軸テーブル16に沿って、X軸方向に移動させ、任意の位置に位置決めする。可動体19には、作業ヘッド20が装着されている。この作業ヘッド部20には、X軸方向に所定間隔Dを隔てて、作業位置を認識するための位置認識カメラ21と、所定の作業を行う作業用ツール22とが固定されている。図2の例では、位置認識カメラ21の軸心と、作業用ツール22の軸心とが、正確にX軸方向に沿った線上に配置されている。この作業ヘッド部20は、可動体19に対して高精度にX軸方向に移動可能に設置されており、その移動範囲は、位置認識カメラ21と作業ツール22との間隔Dに略対応している。又、この作業ヘッド部20を移動させて高精度に位置決めする精密モータ23と精密ボールネジ24からなる精密位置決め手段25が設けられている。

【0016】図1は、図2に示すY軸テーブル13のサーボ制御に使用する本実施例のブロック図である。尚、X軸テーブル16と作業ヘッド部20（以下、H軸とする）。

【0017】のサーボ制御装置にも同じように使用する、しかし、これらの動作は、Y軸テーブル13の場合と同様なので説明を省略する。

【0018】図1、図2において、モータ6を制御してサーボ制御対象物であるY軸テーブル13を各時刻の目標位置に一致させるように、指令制御部1が、別に設定された加速度 α 及び最高速度に基づいて、各サンプリング周期毎に、その時刻の位置指令を出力する。偏差カウンタ2が、前記の位置指令と、位置検出器7のパルスゼネレータからのY軸テーブル13の位置データとを受けてこれらの偏差を演算して、図17に示すような偏差カウンタ曲線を作成し、演算した偏差カウンタ曲線を出力する。位置アンプ3が、偏差カウンタ2の偏差カウンタ曲線の出力を受けて、その出力を位置アンプ比例ゲイン K_{pp} 倍して、速度指令信号として出力する。速度アンプ4が、位置アンプ3から受けた速度指令信号と、速度検出部8からの速度データとの差に応じ、伝達関数 $K_v p + K_v i / S$ に基づいて演算し、その結果をトルク指令信号として出力する。ここでSは、ラプラス変換を表す。駆動回路5が、トルク指令信号に基づいて、モータ6を駆動する。

【0019】この場合、作業内容に応じて、稼働中に、

作業ツール22等を交換するようなロボットでは、X軸テーブル16、Y軸テーブル13にかかる負荷が変化するため、どのような状態でも目標を達成する制御特性を得るために、負荷の変化に対応して、位置アンプ3、速度アンプ4が使用する各制御パラメータを変更する必要がある。

【0020】そのために、まず、偏差カウンタ曲線からオーバーシュート量と整定時間とを演算し、その演算結果からファジィ推論によって制御パラメータを調整する制御パラメータオートチューニング部11を設け、この制御パラメータオートチューニング部11内にある制御機構12が、装置全体を制御し、被制御対象物のY軸テーブル13に対して標準負荷でX軸テーブル16を移動させる実際のサーボ動作を行い、制御パラメータオートチューニング部11に、その際の偏差カウンタ曲線からオーバーシュート量と整定時間とを演算させ、その演算結果からファジィ推論によって最適制御パラメータを求めさせ、この最適制御パラメータを制御パラメータ記憶部10に記憶させ、同時に、負荷変化推定部9に、前記実際のサーボ動作時のサーボ動作開始時から一定時間だけの偏差カウンタ曲線を作成させ、この偏差カウンタ曲線を、標準負荷で最適制御パラメータを使用してサーボ動作した場合の偏差カウンタ曲線の規範モデルとして負荷変化推定部9に記憶させる。

【0021】次いで、実際に出現すると予想される種々の負荷について、標準負荷に対応する最適制御パラメータを使用したサーボ動作を順次行い、制御パラメータオートチューニング部11に、夫々の場合の最適制御パラメータを演算させる。これと同時に、負荷変化推定部9に、前記夫々の場合に、実際のサーボ動作時のサーボ動作開始時から一定時間だけの偏差カウンタ曲線を作成させ、この偏差カウンタ曲線と、前記偏差カウンタ曲線の規範モデルとの差の積分値を演算させ、この積分値を、夫々の場合の最適制御パラメータとを組み合わせ、制御パラメータ記憶部10に記憶させる。このようにすると、前記積分値と、夫々の場合の最適制御パラメータとは1対1の対応をする。

【0022】次に、制御パラメータオートチューニング部11と制御機構12とのオートチューニング動作の説明を図18のフローチャートに基づいて行う。

【0023】ステップ#1のオートチューニングスタートにおいて、まず、負荷の大きさを予想される負荷変化の中間程度の大きさ（これを標準負荷とする。）に設定する。そして、各時刻の目標位置、加速度及び最大速度を、指令制御部1に与えた後、加速度 α 、位置アンプ比例ゲイン K_{pp} 、速度アンプ比例ゲイン K_{vp} 、速度アンプ積分ゲイン K_{vi} / S （Sはラプラス変換を示す。）の初期値については、基本的にモータ単体での最適値を予め調べておき、 K_{vp} はその調べた最適値とし、 α 、 K_{pp} 、 K_{vi} は前記の最適値の1/3程度と

する。但し、機械の特性が予め或る程度既知の場合には、その既知の値で初期値を設定することも可能である。これが終ると、ステップ#2に進む。

【0024】ステップ#2の標準負荷の最適制御パラメータ演算において、標準負荷チューニングを行う。即ち、標準負荷において、指令制御部1から設定された目標位置、加速度、最高速度とに基づいてサーボ動作を一回行う。その動作結果から、制御パラメータオートチューニング部11がファジィ推論を行い、制御特性が目標に近づくように、新しい制御パラメータ α 、 K_{pp} 、 K_{vp} 、 K_{vi} に変更する。このサーボ動作と制御パラメータ変更動作とを、新しい制御パラメータ α 、 K_{pp} 、 K_{vp} 、 K_{vi} の変更量が或る一定の範囲内に入るまで繰り返すことによって、その条件での最適制御パラメータを得る。求められた最適制御パラメータを制御パラメータ記憶部10に記憶しておく。次いで、ステップ#3に進む。

【0025】ステップ#3で規範モデルを求める。即ち、上記のようにして得られた最適制御パラメータを使用して、サーボ動作を行い、位置制御のサンプリング周期毎に、サーボ動作開始から或る一定時間（指令が最高速度に達するまでの時間の1/3とする。）までの偏差カウンタ曲線を規範モデルとして負荷変化推定部9に記憶する。この規範モデルの値を $E_{ref}(kT)$ とする。ここで、 T はサンプリング時間、 k は0、1、2、3、・・・である。次いで、ステップ#4に進む。

【0026】ステップ#4で、各種負荷での偏差カウンタ曲線と前記規範モデルとの差の積分値を求める。即ち、負荷の大きさを順次適当に変え、制御パラメータは標準負荷での最適制御パラメータを使用してサーボ動作を行い、制御パラメータオートチューニング部11が、サーボ動作開始から、位置制御のサンプリング周期毎に偏差カウンタ2の出力信号 $\{E(kT)\}$ を観察し、前*

*記の規範モデルの値 $E_{ref}(kT)$ との差を求め、前記の或る一定時間（指令が最高速度に達するまでの時間の1/3とする。）までの差の積分値を計算する。この積分値を $E_i(1)$ とすると、

$E_i(1) = \sum \{E(kT) - E_{ref}(kT)\}$ である。この場合、サンプリング時間を1msとし、最高速度に達するまでの時間が100msであれば、100msの1/3である33msに達するまでは、上記の積分値を計算することになる。次いで、ステップ#5に進む。

【0027】ステップ#5で、各負荷での最適制御パラメータを求める。前記ステップ#4と同時に、標準負荷の場合と同様に自動調整を行い、その結果得られた各負荷での最適制御パラメータ(K_{pp} 、 K_{vp} 、 K_{vi})を求める。これらの動作を、更に、負荷を何段階か変えて行う。次いで、ステップ#6に進む。

【0028】ステップ#6で、前記ステップ#5で得られた各負荷での最適制御パラメータ(K_{pp} 、 K_{vp} 、 K_{vi})と、前記積分値 $E_i(1)$ との組合せを、制御パラメータ記憶部10に記憶し、終了する。

【0029】以上の動作により、負荷変化推定部9には、標準負荷でのサーボ動作開始から或る一定時間内における、位置制御のサンプリング周期毎の偏差カウンタ曲線の規範モデルのデータの列が記憶され、制御パラメータ記憶部10には、種々の負荷において、標準負荷での最適制御パラメータを設定した場合のサーボ動作開始時から或る一定時間内における、位置制御のサンプリング周期毎の偏差カウンタ曲線と前記偏差カウンタ曲線の規範モデルとの差の積分値と、その負荷における最適制御パラメータとの組合せが表1に示すように記憶される。

【0030】

【表1】

E_i	K_{pp}	K_{vp}	K_{vi}
$E_i(0)$	$K_{pp}(0)$	$K_{vp}(0)$	$K_{vi}(0)$
$E_i(1)$	$K_{pp}(1)$	$K_{vp}(1)$	$K_{vi}(1)$
$E_i(2)$	$K_{pp}(2)$	$K_{vp}(2)$	$K_{vi}(2)$
.	.	.	.
$E_i(n)$	$K_{pp}(n)$	$K_{vp}(n)$	$K_{vi}(n)$

【0031】表1において、 $E_i(0)$ は標準負荷の場合であり、その他は n 通りの負荷についてのデータを示す。

【0032】次に、制御パラメータオートチューニング部11におけるファジィ推論について説明する。

【0033】制御パラメータオートチューニング部11が、偏差カウンタ曲線からオーバーシュート量 OV と整

定時間 T_s とを演算する。先ず最初に、図17に示すようなアンダーシュート量 a を求め、これをオーバーシュート量 OV' とする。即ち、 $OV' = (a/b) \times 100\%$ とする。次に、動作データが一定パルス数内（本実施例では、 ± 10 パルス内）に収まるまでの時間を求め、この時間を整定時間 T_s' とする。そして、 OV 、 T_s の目標値 OV_{ref} 、 T_{sref} 及び夫々の許容範

図ΔOVref、ΔTsrefに対し、次の演算式に基づいてファジィ推論するためのOV、Tsを決定する。*

$$\begin{aligned} OV &= \{ (OV' - OV_{ref}) / \Delta OV_{ref} \} + 1 & (\text{但し、} 0 \leq OV \leq 20) \\ (\text{単位：パーセント}) & \\ Ts &= (Ts' - Ts_{ref}) / \Delta Ts_{ref} & (\text{但し、} 0 \leq Ts \leq 50) \\ (\text{単位：ms}) & \end{aligned}$$

又、最初のアンダーシュート（極小点）の後、前記の一定パルス数の範囲を越えてアンダーシュート（極小点）がある場合は、隣接する極小点間の時間間隔を求め、この時間間隔の変化が、設定範囲内にあり、且つ、前記極小点が5回以上存在する場合には、発振があるとみなし、その時のKpp、Kvpの夫々を0.9倍した値を、Kpp、Kvpの可変範囲の最大値とし、その範囲内で、チューニングを繰り返す。そして、10回チューニングを繰り返しても、Kpp、Kvp、αの少なくとも1つが一定範囲内に5回連続して収まらない場合には、αをある一定値だけ下げ、再度チューニングを行う。Kpp、Kvp、αのチューニング完了後は、ΔKpp、ΔKvp、Δαは無視し、ΔKviに基づいてKviを変更する。即ち、Kvi+ΔKviが修正値になる。ΔKviが0又は負の値となった場合、その時のKviを記憶しておき、ΔKviが0又は負の値となることが5回現れた時点で、チューニングを終了し、その記憶しておいた5回のKviのうち最小の値を0.9倍した値を最終のKviとして設定する。

【0035】次に、ファジィ推論の目標値を設定する。即ち、オーバーシュート量と整定時間との目標値と許容範囲とをファジィ推論の入力用メンバーシップ関数の横軸に、図3、図4に示すように、ZRの三角形の頂点の※

```
if OV=NS 且つ Ts=ZR then ΔKpp=ZR
if OV=NS 且つ Ts=PS then ΔKpp=PS
if OV=NS 且つ Ts=PM then ΔKpp=PS
```

```
if OV=PL 且つ Ts=PL then ΔKpp=ZR
```

という意味を表している。尚、夫々の記号はファジィラベルといい、NLは負に大きい、NMは負に中ぐらい、NSは負に小さい、ZRは略ゼロ、PSは正に小さい、PMは正に中ぐらい、PLは正に大きいという意味であり、入力 of OVとTsについては、夫々の目標値に対しての状態を表しており、例えば、ZRは略目標値という意味になる。

【0038】図3～図8において、図3、図4は、夫々制御パラメータオートチューニング部11が前記のように演算したOVとTsに関するメンバーシップ関数を表すグラフ、図5、図6、図7、図8は、夫々制御パラメータオートチューニング部11の出力であるΔKpp、ΔKvp、ΔKvi、Δαに関するメンバーシップ関数を表すグラフである。この場合、ΔKpp、ΔKvp、ΔKvi、Δαは、夫々の現在値Kpp、Kvp、Kv

*【0034】

※横軸値を目標値とし、ZRの三角形の底辺を許容範囲としたメンバーシップ関数と、予め設定しておいたメンバーシップ関数図5～図8とファジィルール図9～図12に基づいて、前記オーバーシュート量OVと整定時間Tsとの現在値から、現在の加速度α及び位置アンプ比例ゲインKpp、速度アンプ比例ゲインKvp、速度アンプ積分ゲインKviをどれだけ修正すれば、目標のオーバーシュート量OVと整定時間Tsに近づくかを推論する。

【0036】先ず、前記のようにサーボ動作曲線から演算されたオーバーシュート量OVと整定時間Tsとの現在値を演算する。このOVとTsとによって、現在の加速度α、位置アンプ比例ゲインKpp、速度アンプ比例ゲインKvp、速度アンプ積分ゲインKvi/S（Sはラプラス変換を示す。）をどれだけ変化させれば目標のOVとTsとに近づくかをファジィ推論する。このファジィ推論方法を以下に説明する。

【0037】図9～図12において、図9は、現在のKppに対する修正量ΔKppを求めるためのファジィルールである。図10、図11、図12は夫々現在のKvpに対する修正量ΔKvp、現在のKviに対する修正量ΔKvi、現在のαに対する修正量Δαを求めるためのファジィルールである。例えば、図9の場合、

i、αに、図5、図6、図7、図8のメンバーシップ関数の横軸の値を掛けた値であり、例えば、ΔKppにおいて、推論結果が0.5であるとする、ΔKpp=0.5×Kppとなる。

【0039】制御パラメータオートチューニング部11は、図3～図8に示すメンバーシップ関数と、図9～図12に示すファジィルールに基づいて、MIN-MAX一重心法と呼ばれるファジィ演算方法によって推論を行う。

【0040】OV=1.6%、Ts=8(ms)の場合のΔKppの演算方法を図13に基づいて説明する。

【0041】先ず、OV=1.6%、Ts=8(ms)が各メンバーシップ関数の夫々のファジィラベルにどれだけ適合しているかを求める。図13より、OV=1.6%は、ZRに対して適合度0.4、PSに対して適合

度0.6であり、NS、PM、PLに対しては適合度0である。又、図14より、 $T_s = 8$ (ms)は、ZRに対して適合度0.3、PSに対して適合度0.7であり、PM、PL、PLに対しては適合度0である。

【0042】次に、前記OV、 T_s の入力値の組合せが、各ルールにどれだけ適合しているかを求める。図16は、図9の ΔK_{pp} に関するファジイルールのうち上記の場合に成立するルールのみを表したものである。図16の数値は、各ルールの適合値であり、上記の各入力の適合度はMIN演算によって小さい方の適合度が採用されている。次に、図16に表された各ルールの適合度に基づき、図15に示すように、出力 ΔK_{pp} のファジイ量をMAX演算によって求め、重心法によって、その重心をとることにより、確定出力0.15が得られる。そして、 K_{pp} の修正量 ΔK_{pp} は、前述のように、 $\Delta K_{pp} = 0.15 \times K_{pp}$ となる。同様に、 ΔK_{vp} 、 ΔK_{vi} 、 $\Delta \alpha$ が求められる。

【0043】次に、制御パラメータを最適値に追いつく(目標制御特性を得る)までの手順を説明する。

【0044】最初は、ファジイ推論結果の ΔK_{pp} 、 ΔK_{vp} 、 $\Delta \alpha$ に基づき K_{pp} 、 K_{vp} 、 α を変更する。即ち、 $K_{pp} + \Delta K_{pp}$ 、 $K_{vp} + \Delta K_{vp}$ 、 $\alpha + \Delta \alpha$ が夫々新しい値になる。そして、 ΔK_{pp} 、 ΔK_{vp} 、 $\Delta \alpha$ の値が総て夫々の一定範囲内であることが5連続して続いた場合に、 K_{pp} 、 K_{vp} 、 α のチューニングは完了とみなす。

【0045】 K_{pp} 、 K_{vp} 、 α のチューニングは完了後は、 ΔK_{pp} 、 ΔK_{vp} 、 $\Delta \alpha$ は無視し、 ΔK_{vi} に基づいて K_{vi} を変更する。即ち、 $K_{vi} + \Delta K_{vi}$ が新しい値と成る。そして、 ΔK_{vi} が0又は負の値になった場合、その時の K_{vi} を記憶しておき、 ΔK_{vi} が0又は負の値になることが5回繰り返された時点で、チューニングを終了し、その記憶しておいた5回の K_{vi} のうちの最小値を0.9倍した値を最終の K_{vi} として設定する。

【0046】以上の動作では、サーボ動作開始時に必ず標準負荷時の最適制御パラメータに変更しているが、負荷の変化があまり大きくない場合や、ロボットの各軸にかかる負荷が判っている場合には、各制御パラメータは一定の値とし、加速時における制御パラメータの変更動作を行わないようにすることもできる。

【0047】本発明の自動調整サーボ制御装置は、上記の実施例に限らず、種々の態様が可能である。例えば、実施例では、繰り返し回数を5回、10回等としているが、5回、10回に限らず、システムに合わせた回数にすることができる。又、制御パラメータの逓減係数を実施例では、0.9としているが0.9には限らない。

【0048】

【発明の効果】本発明の自動調整サーボ制御装置は、可動中に負荷が変化しても、本発明の規定方法で負荷の大

さを規定することにより、負荷の大きさと最適制御パラメータとを1対1で対応できるので、負荷の変化に対応して、容易に最適制御パラメータを読み出して使用でき、常に、最適制御パラメータを使用したサーボ制御が可能であるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の自動調整サーボ制御装置の一実施例のブロック図である。

【図2】直交ロボットの平面図である。

【図3】本発明の一実施例のファジイ推論に使用する入力用メンバーシップ関数の図である。

【図4】本発明の一実施例のファジイ推論に使用する入力用メンバーシップ関数の図である。

【図5】本発明の一実施例のファジイ推論に使用する出力用メンバーシップ関数の図である。

【図6】本発明の一実施例のファジイ推論に使用する出力用メンバーシップ関数の図である。

【図7】本発明の一実施例のファジイ推論に使用する出力用メンバーシップ関数の図である。

【図8】本発明の一実施例のファジイ推論に使用する出力用メンバーシップ関数の図である。

【図9】本発明の一実施例のファジイルールの図である。

【図10】本発明の一実施例のファジイルールの図である。

【図11】本発明の一実施例のファジイルールの図である。

【図12】本発明の一実施例のファジイルールの図である。

【図13】本発明の一実施例のファジイ推論方法の動作図である。

【図14】本発明の一実施例のファジイ推論方法の動作図である。

【図15】本発明の一実施例のファジイ推論方法の動作図である。

【図16】本発明の一実施例のファジイ推論方法の動作図である。

【図17】本発明の一実施例のサーボ制御曲線の図である。

【図18】本発明の一実施例の動作を示すフローチャートである。

【図19】従来例のブロック図である。

【符号の説明】

- 1 指令制御部
- 2 偏差カウンタ
- 3 位置アンプ
- 4 速度アンプ
- 5 駆動回路
- 6 モータ
- 7 位置検出器

13

14

8 速度検出部

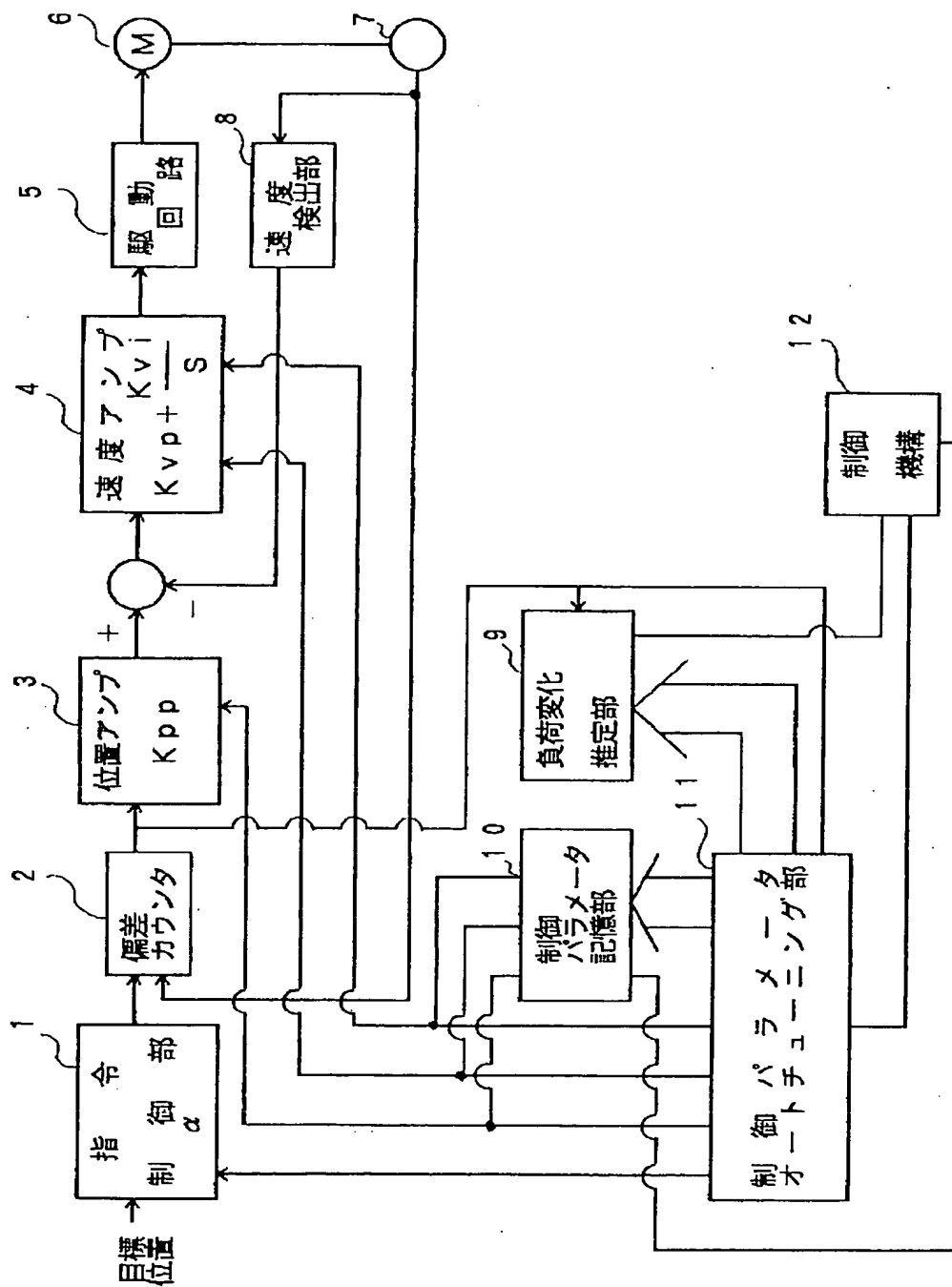
9 負荷変化推定部

10 制御パラメータ記憶部

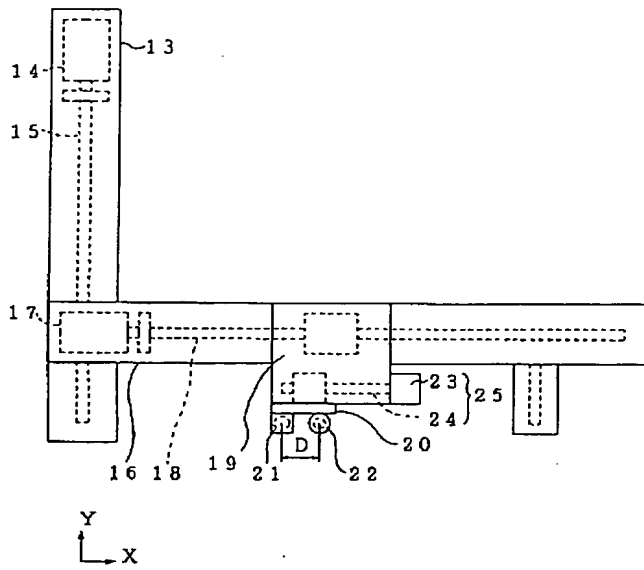
11 制御パラメータオートチューニング部

12 制御機構

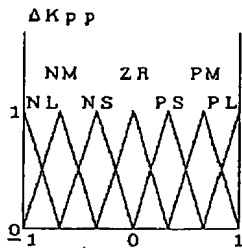
【図1】



【図2】



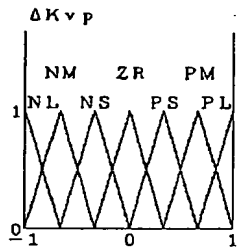
【図5】



【図10】

ΔK_{pp}	TS	ZR	PS	PM	PL
OV	NS	NR	NR	NR	NR
NS	NR	NR	NR	NR	NR
ZR	NR	NR	NR	NR	NR
PS	NR	NR	NR	NR	NR
PM	NR	NR	NR	NR	NR
PL	NR	NR	NR	NR	NR

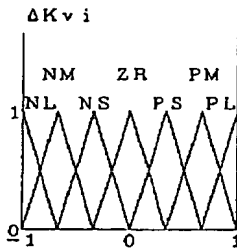
【図6】



【図11】

ΔK_{vp}	TS	ZR	PS	PM	PL
OV	NS	NR	NR	NR	NR
NS	NR	NR	NR	NR	NR
ZR	NR	NR	NR	NR	NR
PS	NR	NR	NR	NR	NR
PM	NR	NR	NR	NR	NR
PL	NR	NR	NR	NR	NR

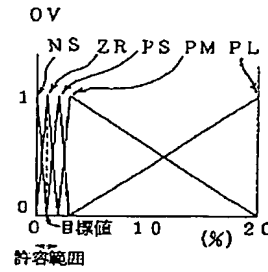
【図7】



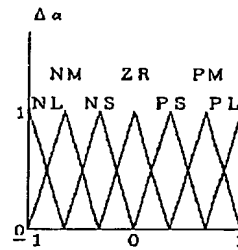
【図12】

ΔK_{vi}	TS	ZR	PS	PM	PL
OV	NS	NR	NR	NR	NR
NS	NR	NR	NR	NR	NR
ZR	NR	NR	NR	NR	NR
PS	NR	NR	NR	NR	NR
PM	NR	NR	NR	NR	NR
PL	NR	NR	NR	NR	NR

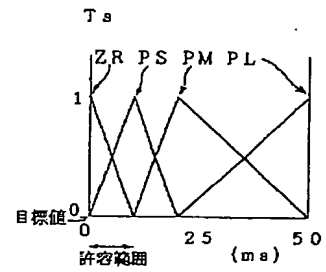
【図3】



【図8】



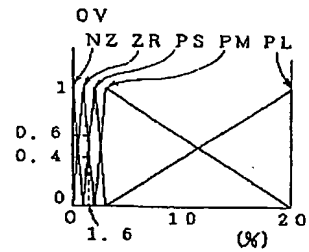
【図4】



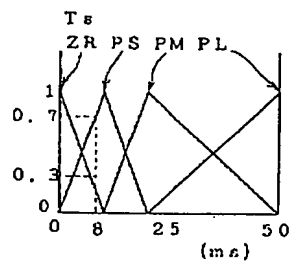
【図9】

ΔK_{pp}	TS	ZR	PS	PM	PL
OV	NS	NR	NR	NR	NR
NS	NR	NR	NR	NR	NR
ZR	NR	NR	NR	NR	NR
PS	NR	NR	NR	NR	NR
PM	NR	NR	NR	NR	NR
PL	NR	NR	NR	NR	NR

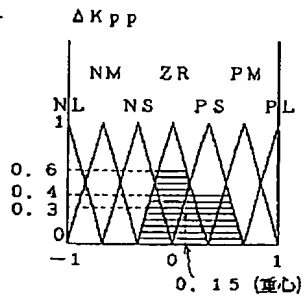
【図13】



【図14】



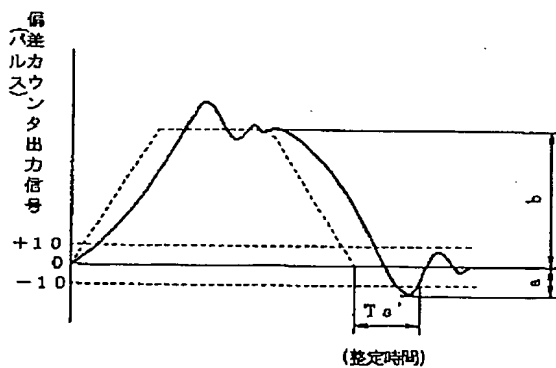
【図15】



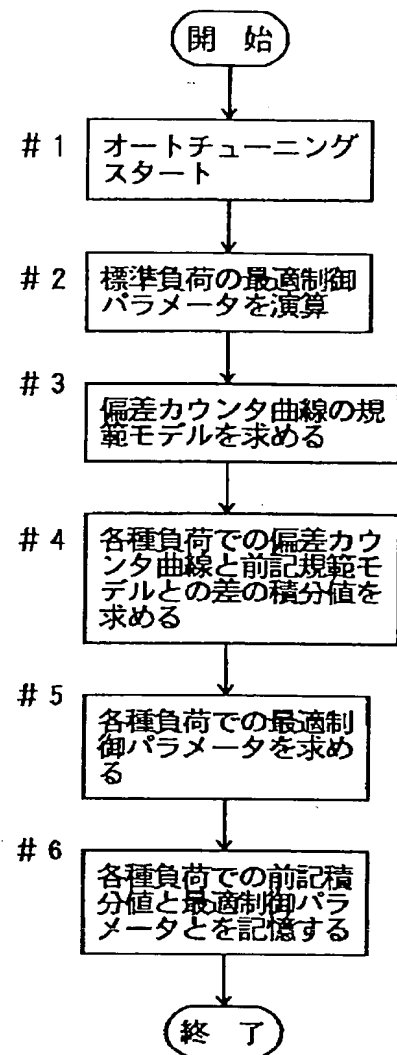
【図16】

ΔKppルール適合度				
T_s OV	Z R	P S	P M	P L
N S	—	—	—	—
Z R	(0.3)	(0.4)	—	—
P S	(0.3)	(0.6)	—	—
P M	—	—	—	—
P L	—	—	—	—

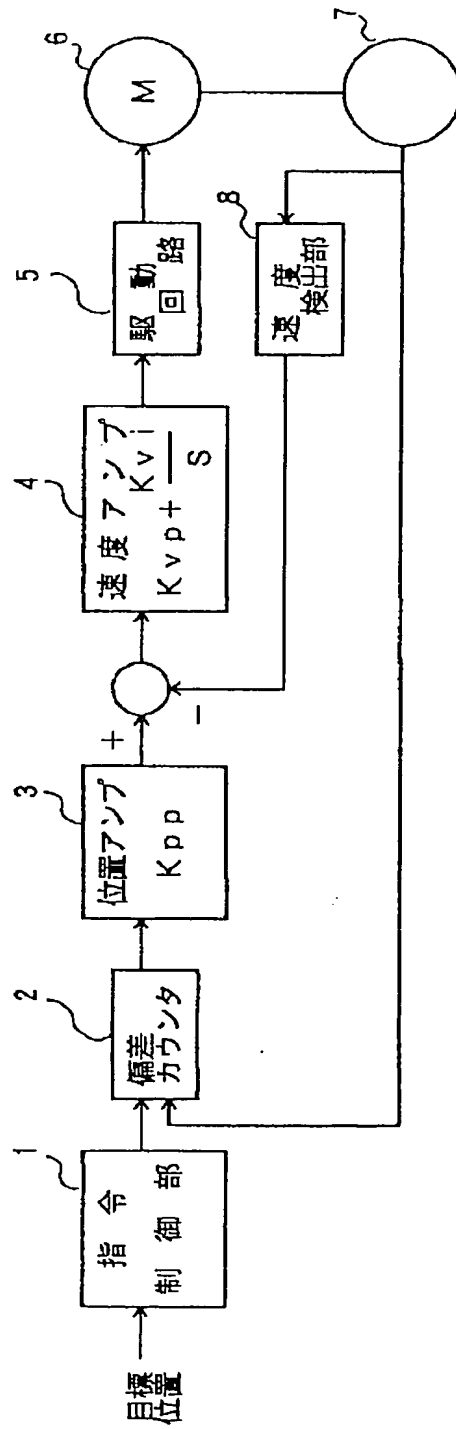
【図17】



【図18】



【図 19】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.⁵

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G 0 5 B 13/02

N 9131-3H

19/403

V 9064-3H